

レーザー加工による「ものづくり」の試み*

長坂明彦^{*1}・岸 佐年^{*2}・三尾 敦^{*3}・和田一秀^{*3}
種田英樹^{*3}・加藤正幸^{*3}・大藪安澄^{*4}・小山敦史^{*4}

A Trial of Monozukuri Utilizing Laser Cutting

NAGASAKA Akihiko^{*1}, KISHI Satoshi^{*2}, MIO Atsushi^{*3}, WADA Kazuhide^{*3},
OIDA Hideki^{*3}, KATO Masayuki^{*3}, OYABU Azumi^{*4} and KOYAMA Atsushi^{*4}

キーワード：YAG レーザ加工，精密切断，工作実習，CAD/CAM，ステンレス鋼板

1. はじめに

レーザー加工は，指向性，集光性に優れたレーザー光をレンズやミラーで微小スポットに集束して，それによって得られる高いエネルギー密度を利用する熱加工法である。最近，レーザーや発振器の性能が向上して，レーザー加工の実用化は進み，切断，溶接，マーキング，ピアシングなど幅広く利用されるようになった。¹⁾

また近年，自動車，精密機械分野ではより厳しい切断品質が要求されてきている。とくに，薄板精密切断，穴あけにおいては，ワイヤ放電加工なみの切断性能が期待されている。前報²⁾では，YAG レーザ加工による工作実習を調査したが，公開講座等の外部への取組の報告はほとんどない。

そこで本研究では，長野高専・地域共同テクノセンターの YAG レーザ加工機を用い，短時間で正確に，薄板金属を切断加工することを目的とし，外部に対する体験講座等の経験を通じて，新たなレーザー加工の工作実習法³⁾を提案する。

2. レーザ加工体験実習の取組

2001年8月16日・17日の9:30から17:00，『レーザー加工体験実習』を長野高専・地域共同テクノセンターにて実施した。YAG レーザ加工機を使い，例えばはさみで紙の切り絵を創作するように金属（板えは

さみで紙の切り絵を創作するように金属（板厚 0.3mm のステンレス鋼板 SUS304）を加工する。また，イニシャルなどの文字を金属に書込む。これらの体験実習を通じて「ものづくり」の楽しさや完成時の喜びを知ってもらおうと計画した。対象は小学生・中学生で，両日で13人（小学生：4人，中学生：9人）が終日参加した。事業内容は以下の通りである。

- 1) ステンレス鋼板などの金属の話
- 2) レーザ加工の話
- 3) 方眼紙を利用した NC データ作成
- 4) NC データの描画軌跡（シミュレーション）
- 5) ステンレス薄鋼板のレーザー切断加工

すなわち，ステンレス鋼板にイニシャルを書込み，外形を切落として『しおり』を製作した。方眼紙に各個人のデザインをノートパソコン上で NC プログラムにして，機械に読みレーザー切断加工させた。受講生の多くが中学生ということもあり，パソコンの扱いにも慣れていたので，とくに問題もなく実習を進めることができたが，出来上がったプログラムには問題が多く，受講生は何度もシミュレーションを繰り返し，プログラムを修正した。私たちの生活の中で重要な役割を果たしているステンレス鋼板を用いて，NC プログラムの基本を学びかつレーザー加工という先端技術に触れることができ，有意義な公開講座になったと思われる。

その他以下の3事業を2001年度実施した。

- ① 2001年8月24日：『CAD/CAMシステムによるYAG レーザ加工入門講座』，対象：社会人（7人）
- ② 2001年9月6日：長野高専一日体験入学『レーザー加工機を体験してみよう』，対象：中学生（52人）
- ③ 2001年10月20・21日：長野高専工嶺祭『レーザー加工の実演・体験』，対象：一般（92人）

* 2002年8月29日平成14年度高等専門学校教育教員研究集会にて一部発表。本研究の一部は，（社）日本鉄鋼協会の助成を受けて行われた。

*1 機械工学科助教授

*2 電子制御工学科教授

*3 技術室第一技術班

*4 長野工業高等専門学校専攻科

生産環境システム専攻学生

原稿受付 2004年5月20日

3. 新たなレーザー加工の工作実習法

機械工学科の NC (数値制御) プログラムを利用した工作実習は, MC, NC フライス盤, CNC 旋盤及びワイヤ放電加工機³⁾で長年の実績がある. YAG レーザ加工機 (パルス発振, 最大平均出力 350W, 最大ピーク出力 4.5kW) が 2000 年度, 地域共同テクノセンターに設置され, 機械工学科 4 年生の工作実習として 2001 年度に実施され, 2002 年度は機械工学科 3 年生でスタートした.

<2001 年度実施>

・第 1 週: YAG レーザについて, YAG レーザ加工機の取扱方法と安全作業, NC プログラムについて (50 分×3=150 分) .

・第 2 週: NC プログラムの作成, 加工物の描画, 開図形の精密切断加工 (50 分×3=150 分) .

・第 3 週: 工具径補正図形の精密切断加工, ドロスの有無, 開図形と工具径補正図形の加工品を計測し, 比較・検討 (50 分×3=150 分) .

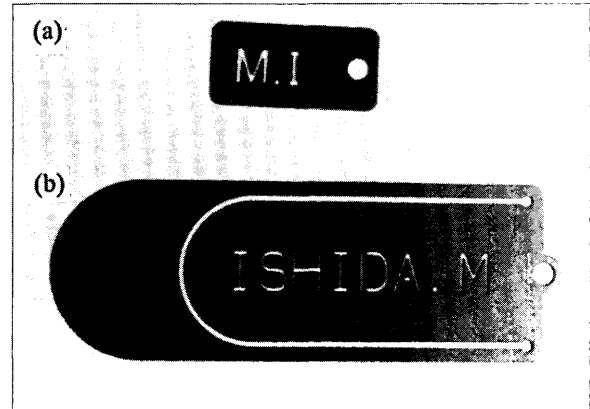
現実には多くの学生が自作の NC プログラムを描画にて確認する段階で時間を費やした. その結果, 工具径補正図形の精密切断加工は数名の学生のみが到達できた.

<2002 年~2003 年度実施>

改良点と実習内容は以下の通りである.

- ・第 1 週 (90 分×2=180 分) のみ
 - ・加工時間の大幅短縮 (約 5 分から 1 分)
 - ・アシストガスの酸素消費低減.
 - ・開図形のみを精密切断加工
- 1) 題材のイニシャルプレートをレーザー加工機で実際にデモする. (図 1(a))
 - 2) NC プログラムの説明後, 各自がメモ帳に NC プログラム (イニシャル A~Z のサブプロ番号: P3000~P3025) を入力し, 作成した NC プログラムを描画にて確認する. (図 2)
 - 3) 加工 (絶対) 原点をステンレス鋼板の左下にマジックで定義する.
 - 4) 実際に各自がレーザー加工機を操作し, 加工原点を見つけ, 送り速度 240mm/min で切断加工する.
 - 5) デジタルノギスでイニシャルプレートを計測・評価する. ドロス (加工くず) の確認とエメリー紙による後処理を行う.

図 3~7 に 3 年機械工学科・工作実習および専攻科 1 年生産環境システム専攻・機械工作学特論で使用している YAG レーザ加工機の基本作業のテキストの課題を示す.



(a)イニシャルプレート, (b)しおり

図 1 完成しステンレス鋼板の『イニシャルプレート』と『しおり』

```
G90 . . . (アブソリュート)
G92X0Y0Z0 . . . (ワーク座標の設定)
G17 . . . (XY 平面指定)
F240 . . . (送り速度 240mm/min)
M66 . . . (ランプアップ)
M00 . . . (プログラムストップ)
M42 . . . (アシストガスバルブ開)
G04X0.5 . . . (時間待ち 0.5 秒)
.
(1 MOJI)
G00X5.0 Y4.0 . . . (早送り)
M98P3012 . . . (サブプロ呼び出しイニシャル M)
(2 MOJI)
G00X14.0 Y4.0
M98P3008 . . . (サブプロ呼び出しイニシャル I)
G00X0.0 Y0.0
M98 P1000 . . . (サブプロ呼び出し外形加工)
.
G04X0.2 . . . (時間待ち 0.2 秒)
M43 . . . (アシストガスバルブ閉)
M67 . . . (ランプダウン)
M30 . . . (プログラムエンド)
```

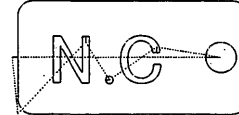
図 2 NC プログラム例

課題1 インクリメンタル方式を中心にNCプログラムを作成し、加工後計測し評価する。

課題2 アブソリュート方式を中心にNCプログラムを作成する。ただし、加工原点の位置を左下のコーナーに変更し、加工の最適化を考慮する。なお、インクリメンタル方式は1MOJI, MARU1, 2MOJI, MARU4とする。アブソリュート方式はGAISYUとする。

課題3 アブソリュート方式を中心にNCプログラムを作成し、アシストガスを制御する。

すべてのプログラムを出力し、レポートに活用する。



参考：CAD/CAM

(NC)

(2004.5.20)

G90G92X0Y0Z0

G17

F240

M66

M00

G00X5.058Y4.609

M42

G04X0.5

M08

G41D01G01X5.058Y4.109

X5.487Y4.109

X5.487Y9.004

X8.388Y4.109

X9.294Y4.109

X9.294Y10.309

X8.436Y10.309

X8.436Y5.414

X5.559Y10.309

X4.629Y10.309

X4.629Y4.109

X5.058Y4.109

X5.058Y4.609

M09

G04X0.2

M43

G40G91G00X0Y0

G90

G00X12.Y4.5

M42

G04X0.5

M08

G41D01G01X11.5Y4.5

G03X12.5Y4.5I0.5J0

X11.5Y4.5I-0.5J0

G01X12.Y4.5

M09

G04X0.2

M43

G40G91G00X0Y0

G90

G00X18.197Y6.075

M42

G04X0.5

M08

G41D01G01X18.197Y6.575

X17.762Y6.575

X17.743Y6.228

X17.68Y5.887

X17.583Y5.609

X17.441Y5.351

X17.254Y5.124

X17.044Y4.956

X16.804Y4.836

X16.472Y4.751

X16.13Y4.725

X15.848Y4.746

X15.573Y4.814

X15.249Y4.97

X14.97Y5.197

X14.766Y5.438

X14.606Y5.71

.

.

.

M08

G42D01G01X0Y7.5

X0Y2.

G03X2.Y0I2.J0

G01X28.Y0

G03X30.Y2.I0J2.

G01X30.Y7.2

M09

G04X0.2

M43

G40G91G00X0Y0

G90

G00X30.5Y7.5

M42

G04X0.5

M08

G42D01G01X30.Y7.5

X30.Y13.

G03X28.Y15.I-2.J0

G01X2.Y15.

G03X0Y13.I0J-2.

G01X0Y7.5

X-0.5Y7.5

M09

G04X0.2

M43

G40G91G00X0Y0

G90G00X0Y0

M67

M30

図3 YAGレーザー加工機の基本作業のテキスト(その1)

課題1 インシヤルプレート (インシヤル)

保存するファイル名の例: NC.TXT

文字加工サブプロ対応表

A	3000
B	3001
C	3002
D	3003
E	3004
F	3005
G	3006
H	3007
I	3008
J	3009
K	3010
L	3011
M	3012
N	3013
O	3014
P	3015
Q	3016
R	3017
S	3018
T	3019
U	3020
V	3021
W	3022
X	3023
Y	3024
Z	3025

```

( )
(2002.8.15)
G90
G92X0Y0Z0
G17
F240
M66
M00
M42
G04X1.

(1 MOJI)
G00 X__ Y__
M98 P__

(2 MOJI)
G00 X__ Y__
M98 P__

G00 X0. Y0.
M98 P1000

G04X0.2
M43
M67
M30

(SUB-MAIN)
O1000
G91

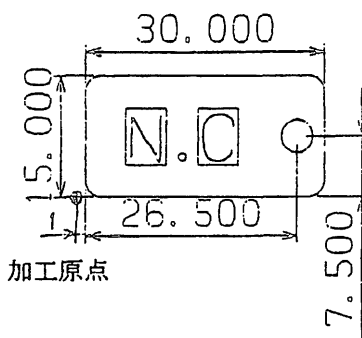
M08

M09

M08

M09

M08
    
```



条件 (ヒント)

加工原点からの距離(x, y)

- 1文字目のインシヤルの四角の左下 (5, 4)
- 2文字目のインシヤルの四角の左下 (14, 4)
- 円: 直径 1mm の中心 (12, 5)
- 円: 直径 4mm の中心 (27.5, 7.5)
- 外周の半径 2mm
- ジョイント 0.3mm 右側中点の位置
- インシヤルの大きさ 7×5mm

図4 YAG レーザ加工機の基本作業のテキスト (その2)

課題 1 回答例

(NC1)	M08	(C)
(2004.5.20)	<u>G01 Y-5.5</u>	O3002
G90	<u>G03 X2.0 Y-2.0 R2.0</u>	G91
G92XYZ	<u>G01 X26.0</u>	G00 X5.0 Y4.5
G17	<u>G03 X2.0 Y2.0 R2.0</u>	M08
<u>F240</u>	<u>G01 Y5.35</u>	G03 X-5.0 R2.5
M66	M09	G01 Y-2.0
M00	<u>G00 Y0.3</u>	G03 X5.0 R2.5
M42	M08	G01 X-0.5
<u>G04X0.5</u>	<u>G01 Y5.35</u>	G02 X-4.0 R2.0
	<u>G03 X-2.0 Y2.0 R2.0</u>	G01 Y2.0
(1 MOJI)	<u>G01 X-26.0</u>	G02 X4.0 R2.0
G00 <u>X5.0 Y4.0</u>	<u>G03 X-2.0 Y-2.0 R2.0</u>	G01 X0.5
M98 P <u>3013</u>	<u>G01 Y-5.5</u>	M09
	M09	G90
(2 MOJI)	G90	M99
G00 <u>X14.0 Y4.0</u>	M99	
M98 P <u>3002</u>		(N)
		O3013
G00 X0.0 Y0.0		G91
M98 P1000		M08
		G01 X0.5
G04X0.2		Y 6.5
M43		X3.675 Y-6.5
M67		X0.825
M30		Y7.0
		X-0.5
(SUB-MAIN)		Y-6.5
O1000		X-3.675 Y6.5
G91		X-0.825
<u>G00 X12.0 Y5.0</u>		Y-7.0
M08		M09
<u>G01 X0.5</u>		G90
<u>G03 X-1.0 R0.5</u>		M99
<u> X1.0 R0.5</u>		
M09		
<u>G00 X15.0 Y2.5</u>		
M08		
<u>G01 X-2.0</u>		
<u>G03 X4.0 R2.0</u>		
<u> X-4.0 R2.0</u>		
M09		
<u>G00 X-24.5</u>		

図 5 YAG レーザ加工機の基本作業のテキスト (その 3)

課題 2 回答例

(NC2)	G03 X2.0 Y0.0 R2.0	(C)
(2004.5.20)	G01 X28.0	O3002
G90	G03 X30.0 Y2.0 R2.0	G91
G92XYZ	G01 Y7.35	G00 X5.0 Y4.5
G17	M09	M08
F240	G00 Y7.65	G03 X-5.0 R2.5
M66	M08	G01 Y-2.0
M00	G01 Y13.0	G03 X5.0 R2.5
M42	G03 X28.0 Y15.0 R2.0	G01 X-0.5
G04X0.5	G01 X2.0	G02 X-4.0 R2.0
	G03 X0.0 Y13.0 R2.0	G01 Y2.0
(1 MOJI)	G01 Y7.5	G02 X4.0 R2.0
<u>G00 X4.0 Y4.0</u>	M09	G01 X0.5
M98 P3013	G04X0.2	M09
	M43	G90
(MARU1)	M67	M99
G00 X11.0 Y5.0	M30	
G91		(N)
M08		O3013
G01 X0.5		G91
G03 X-1.0 R0.5		M08
X1.0 R0.5		G01 X0.5
M09		Y 6.5
G90		X3.675 Y-6.5
		X0.825
(2 MOJI)		Y7.0
<u>G00 X13.0 Y4.0</u>		X-0.5
M98 P3002		Y-6.5
		X-3.675 Y6.5
(MARU4)		X-0.825
G00 X26.5 Y7.5		Y-7.0
G91		M09
M08		G90
G01 X2.0		M99
G03 X-4.0 R2.0		
X4.0 R2.0		
M09		
G90		
(GAISYU)		
G00 X0.0 Y7.5		
M08		
G01Y2.0		

図 6 YAG レーザ加工機の基本作業のテキスト (その 4)

課題3 回答例

(NC3)	G90	(C)
(2004.5.20)		O3002
G90	(GAISYU)	G91
G92XYZ	G00 X0.0 Y7.5	G00 X 5.0 Y 4.5
G17	M42	M42
F240	G04X0.5	G04 X0.5
M66	M08	M08
M00	G01 Y2.0	G03 X-5.0 R 2.5
	G03 X2.0 Y0.0 R2.0	G01 Y -2.0
(1 MOJI)	G01 X28.0	G03 X 5.0 R 2.5
G00 X4.0 Y4.0	G03 X30.0 Y2.0 R2.0	G01 X -0.5
M98 P <u>3013</u>	G01 Y7.35	G02 X-4.0 R 2.0
	M09	G01 Y 2.0
(MARU1)	G04X0.2	G02 X 4.0 R 2.0
G00 X11.0 Y5.0	M43	G01 X 0.5
G91	G00 Y7.65	M09
M42	M42	G4X0.2
G04X0.5	G04X0.5	M43
M08	M08	G90
G01 X0.5	G01 Y13.0	M99
G03 X-1.0 R0.5	G03 X28.0 Y15.0 R2.0	
X1.0 R0.5	G01 X2.0	(N)
M09	G03 X0.0 Y13.0 R2.0	O3013
G04X0.2	G01 Y7.5	G91
M43	M09	M42
G90	G04X0.2	G04 X0.5
	M43	M08
(2 MOJI)	M67	G01 X0.5
G00 X13.0 Y4.0	M30	Y6.5
M98 P <u>3002</u>		X3.675 Y-6.5
		X 0.825
(MARU4)		Y7.0
G00 X26.5 Y7.5		X-0.5
G91		Y-6.5
M42		X-3.675 Y 6.5
G04X0.5		X-0.825
M08		Y-7.0
G01 X2.0		M09
G03 X-4.0 R2.0		G04 X0.2
X4.0 R2.0		M43
M09		G90
G04X0.2		M99
M43		

図7 YAGレーザ加工機の基本作業のテキスト(その5)

4. CAD/CAM を用いたレーザ加工体験実習

平成 2003 年 8 月 14 日 (木)・15 日 (金) 10:00～16:00、『レーザ加工体験実習』を長野高専・地域共同テクノセンターにて実施した。⁵⁾YAG レーザ加工機を使い、例えばはさみで紙の切り絵を作るように金属(ステンレス鋼板)を加工した。また、イニシャルなどの文字を金属に書込んだ。本実習は 3 次元 CAD/CAM を使って、からくりのごとく NC データを生成した。そして、板厚 0.3mm のステンレス鋼板を用いて『イニシャルプレート』や『しおり』を製作した。これらの最先端技術の体験実習を通じて「ものづくり」の楽しさや完成時の喜びを知ってもらおうと計画した。対象は小学生・中学生で、12 人(小学校 5 年生:1 人, 小学校 6 年生:2 人, 中学校 1 年生:2 人, 中学校 2 年生:2 人, 中学校 3 年生:5 人)とその保護者が終日参加した。事業内容は以下の表 1 の通りである。

図 8, 9 および 10 に実習風景を, 図 1 に完成品をそれぞれ示す。

また, 受講生のアンケート結果は以下の表 2 の通りである。

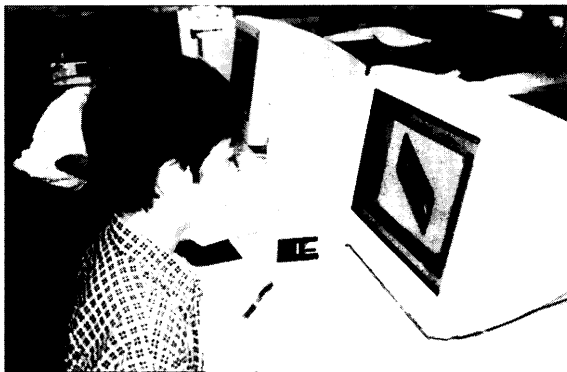


図 8 3次元 CAD/CAM 作業する受講生



図 9 レーザ加工作業する受講生



図 10 閉講式後のレーザ加工受講生とスタッフ

表 1 事業内容

時間帯	内容
10:00～10:15	開講式
10:15～11:15	ステンレス鋼板のレーザ切断加工実演 3次元 CAD によるイニシャルプレート設計
11:20～12:20	レーザ CAM による NC プログラム生成
13:00～15:35	レーザ CAM による NC プログラム生成 ステンレス鋼板のレーザ切断加工
15:35～15:50	ステンレス鋼板とレーザ加工の話
15:50～16:00	閉講式

表 2 受講生のアンケート結果

	時間			内容		
	短い	ちょうど良い	長い	難しかった	良く理解できた	物足りなかった
概要説明について	1	10	1	3	9	
実習について	2	10		3	9	

	もう一度参加する。	他の人にすすめる。	理解できたので来年は参加しない。
来年度レーザ加工体験実習を開催した場合	4	7	2

意見・感想

- ・ レーザを使って楽しくできた。
- ・ とても楽しく理解できた。
- ・ おもしろかった。
- ・ 内容で難しいところがあった。
- ・ このような公開講座をまた開いてほしい。
- ・ 強い光ということでガラスごしで見れなかったけれど、結構楽しかった。
- ・ よくできていた。
- ・ かなり難しかったけれど楽しかった。
- ・ パソコンでの作業は大変だったが、慣れると楽しかった。
- ・ 難しかったけれど、その分やりがいがあり楽しかった。
- ・ とても面白かった。生活の中で使える物が作られてよかった。

以上のことから、受講生はステンレス鋼板とレーザー加工技術に触れることができ、有意義な公開講座になったと思われる。

その他以下の1事業を実施した。

平成2003年10月26・27日：長野高専工嶺祭『ステンレス鋼板のイニシャルプレートとレーザー加工の実演・体験』、対象：一般176人（イニシャルプレート176枚製作）

図11にステンレス鋼板を用いたレーザー加工の実演・体験実習風景を、表3にレーザー加工実演・体験のアンケート結果を示す。



図11 長野高専工嶺祭『ステンレス鋼板のイニシャルプレートとレーザー加工の実演・体験』

表3 レーザ加工実演・体験のアンケート結果

	デザイン			大きさ			仕上がり	
	良い	悪い	どちらともいえない	大きい	適当	小さい	満足	不満足
イニシャルプレートについて	27	1	3	2	26	3	31	

5. おわりに

レーザー加工による「ものづくり」の試みについて、得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) レーザ切断加工はNCの基礎が理解しやすい傾向にある。
- 2) レーザ加工は段取りが容易で、XY座標系で危険が少なく、その後の加工に取りかかりやすい。
- 3) イニシャルプレートは約1分という短時間で、高速精密加工が可能になり、実習時間（180分）の中で理解し習得できる。

最後に、本事業にご支援いただきました（社）日本鉄鋼協会に対し、深く感謝の意を表すとともに、長野高専の卒業研究生の石田渉氏、今井裕章氏、鹿川隆廣氏、徳永朝信氏並びに専攻科生の野田智之氏および福沢晋氏に併せてお礼いたします。

参考文献

- 1) 安井 武司, レーザ加工, 大河出版, 東京, 6, (1990).
- 2) 長坂 明彦他, YAG レーザ加工による工作実習, 平成13年度高等専門学校教育教員研究集会, (2001), 論文番号27.
- 3) 長坂 明彦他, ワイヤ放電加工による工作実習, 長野工業高等専門学校紀要, 31, 149, (1997).
- 4) 長坂 明彦他, YAG レーザ加工による「ものづくり」の取組, 平成14年度高専教育講演論文集, 113, (2002).